

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ НА
СТРУКТУРУ СВОЙСТВА СВМПЭ**

Д.С. Васильев, Т.Р. Алишин, О.С. Толкачев

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Э.С. Двилис

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 2, 634028

E-mail: d.s.vasilyev@mail.ru

**INFLUENCE OF THE TEMPERATURE OF SPARK PLASMA SINTERING ON THE STRUCTURE
AND PROPERTIES OF UHMWPE**

D.S. Vasilev, T. R. Alishin, O.S. Tolkachev

Scientific Supervisor: Dr. Phis.-Mat. Sciences E.S. Dvilis

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 2, 634028

E-mail: d.s.vasilyev@mail.ru

Abstract. *In this work, samples of commercial ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) powder GUR-2122 were produced by spark plasma sintering (SPS) at various temperatures. The influence of the sintering temperature on the density of samples, as well as the surface structure, hardness, and speed of sound was studied.*

Введение. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) представляет собой аморфно-кристаллический термопластичный полимер с высокой молекулярной массой (1,5—11,5 млн. г/моль). Благодаря сочетанию уникальных физико-механических свойств этот полимер широко применяется в различных областях науки и техники, к примеру, относительная истираемость СВМПЭ в 5 раз меньше истираемости фторопласта, а ударостойкость в 7 раз выше, именно поэтому изделия из СВМПЭ используются в медицине для создания эндопротезов суставов; в машиностроении для изготовления деталей и элементов конструкций, которые подвергаются ударной нагрузке и истиранию; в оборонной промышленности для создания средств индивидуальной и коллективной защиты и др. [1]. Высокая молекулярная масса СВМПЭ является причиной высокой вязкости расплава, что делает невозможным формование из него объемных изделий традиционными способами (экструзия, литье под давлением и др.) без введения в состав пластификаторов или других добавок, которые, как правило, отрицательно повлияют на механические характеристики конечного изделия. Одной из наиболее распространенных технологий производства изделий из СВМПЭ является горячее прессование. Контроль параметров консолидации (температура, давление прессования, скорость изменения температуры, время выдержки) позволяет получить данным методом изделия с нулевой пористостью [2]. Недостатком горячего прессования является высокая продолжительность процесса синтеза, которая может превышать 120 минут [3]. Альтернативой данному методу является электроимпульсное плазменное спекание (Spark Plasma Sintering, SPS), которое позволяет существенно уменьшить (минимум вдвое) продолжительность синтеза высокоплотных изделий из СВМПЭ за счет использования в качестве источника энергии для нагрева импульсных токов высокой частоты.

Цель данной работы – изучить влияние температуры электроимпульсного плазменного спекания на структуру и свойства СВМПЭ.

Материал и методика эксперимента. В качестве исходного материала использовали порошок сверхвысокомолекулярного полиэтилена фирмы Ticona GUR-2122 с размером гранул 10 ± 5 мкм и молекулярной массой 4,5 млн. г/моль.

Спекание порошка СВМПЭ проводили на установке для электроимпульсного плазменного спекания SPS-1500A (SPS SYNTEX INC, Япония) при температурах от 125 до 175 °C с шагом 10 °C и продолжительностью изотермической выдержки в течении 10 мин, скорость изменения температуры составляла 10 °/мин. Давление подпрессовки в течении всего процесса спекания составляло 40 МПа.

Для определения плотности, ввиду правильной геометрической формы образцов, использовали результаты взвешивания на аналитических весах, и рассчитывали объём образцов, используя линейные измерения.

Твёрдость образцов определяли на ультрамикротвердоме DUH-211S (Shimadzu, Япония) методом Виккерса при нагрузке 30 мН. Скорость звука измеряли с помощью ультразвукового толщиномера 38DLPlus (Olimpus, США) сквозным прозвучиванием.

Результаты исследования и их обсуждение. Плотность образцов, изготовленных из порошка СВМПЭ при различных температурах спекания, представлена на рисунке 1а. С ростом температуры плотность полиэтилена увеличивается и достигает максимума при 145 °C, дальнейшее повышение температуры приводит к существенному снижению этого параметра. Рост плотности в начале изученного диапазона температур обусловлен уменьшением пористости вследствие спекания гранул СВМПЭ, снижение плотности при нагреве более 145 °C предположительно связано с переходом части кристаллической фазы полиэтилена в аморфную (уменьшение степени кристалличности), которая имеет более низкую плотность [3].

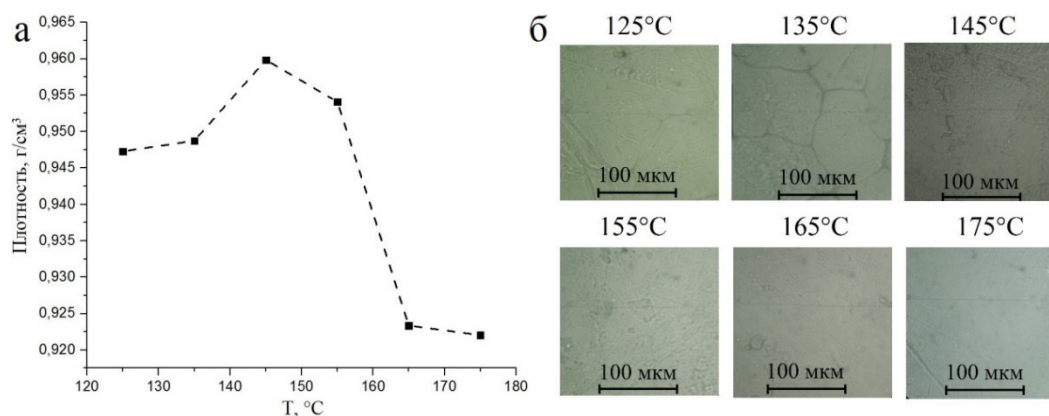


Рис. 1. а - зависимость плотности образцов из СВМПЭ от температуры спекания, б - микроструктура поверхности образцов из СВМПЭ, спекенных при различных температурах

На рисунке 1б представлены изображения микроструктуры поверхности образцов СВМПЭ. На поверхности образца, спекенного при 125 °C, видны отдельные зерна СВМПЭ, разделенные тонкими границами, при температуре 135 °C зерна видны более отчетливо за счет контраста с образующейся на их границах аморфной фазой, обладающей более высоким коэффициентом светопропускания. С увеличением температуры до 145 °C из зерен, находящиеся на поверхности, формируется единый аморфный слой. Дальнейшее повышение температуры не приводит к видимому изменению структуры поверхности, однако

с ростом температуры образцы становятся более прозрачными, что свидетельствует о продолжении фазового перехода в объёме, что так же подтверждается результатами измерения плотности.

На рисунке 2а представлены зависимости твердости образцов и скорости звука от температуры спекания. Кривые зависимостей твердости и скорости звука от температуры спекания имеют максимумы при 145 и 155 °С соответственно, эти параметры демонстрируют близкую к линейной зависимость от плотности, что наглядно отражено на рисунке 2б.

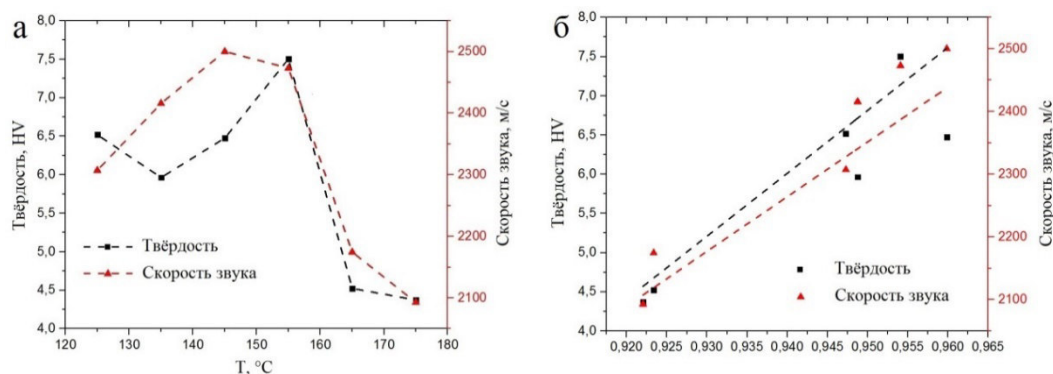


Рис. 2. Зависимости твердости и скорости звука от температуры спекания (а)
и плотности (б) образцов из СВМПЭ

Заключение. Таким образом, в ходе работы было изучено влияние температуры SPS-спекания на структуру и свойства СВМПЭ. Максимальную плотность ($0,96 \text{ г/см}^3$) имеет образец, спеченный при 145 °С, дальнейшее повышение температуры приводит к снижению этого параметра. Изучение структуры поверхности образцов позволяет сказать, что после 145 °С на поверхности начинается переход кристаллической фазы в аморфную, который продолжается с увеличением температуры. Твердость и скорость звука демонстрируют близкую к линейной зависимость от плотности, максимальные значения данных параметров имеют образцы, спеченные при 155 и 145 °С соответственно. Оптимальная температура спекания по критерию максимальной плотности, твердости и скорости звука находится в диапазоне температур 145-155 °С.

Исследование выполнено на базе «Нано-Центра» НИ ТПУ, при поддержке ГЗ «Наука» № 11.7700.2017/БЧ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селютин Г.В., Гаврилов Ю.Ю., Воскресенска Е.Н. и др. Композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена: свойства, перспективы использования // Химия в интересах устойчивого развития. – 2010. – №18. – С. 378-388.
2. Hosseinneshad, R., Talebi, S., Rezaei, M. The unique effect of chain entanglements and particle morphology on the sintering of ultrahigh molecular weight polyethylene // Journal of Elastomers and Plastics. – 2016. – V. 49. – No. 7. – P. 609–629.
3. Deplancke, T., Lame, O., Rousset, F., Aguilu, I., Seguela, R., & Vigier, G. Diffusion versus Cocrystallization of Very Long Polymer Chains at Interfaces: Experimental Study of Sintering of UHMWPE Nascent Powder // Macromolecules – V. 47. – No. 1 – P. 197–207.